モード結合理論による古典液体の動的臨界現象

京大・理　太　田　隆　夫

古典液体の動的臨界現象は主として，モード結合理論により詳しく研究されてきた。[1)] Kawasaki はくり込まれた輸送係数に対する積分方程式を摂動的に解き，Shear viscosity（η）の異常性に関して，

$$\eta \;=\; \eta_0\left(1-\frac{8\nu}{15\pi^2}\,\ln\,\tau\right)\quad(\tau>10^{-12}\,,\;\mathrm{d}=3) \tag{1}$$

を得た。[2)] ここに，η_0 は bare な（background）粘性率，$\tau=|T-T_c|/T_c$，ν はゆらぎの相関距離 ξ に関する指数，そして d は空間の次元である。その後，Halperin 達により，動的くりこみ群の方法で調べられ，粘性率のベキ発散，

$$\eta \;\sim\; \tau^{-\frac{1}{19}\nu\varepsilon}\qquad(\varepsilon=4-\mathrm{d}\ll 1) \tag{2}$$

を得た。[3)] 現実の三次元系で臨界点での粘性率の異常性が対数発散か，弱いベキ発散か，あるいはカスプ型かをみるためには (1)，(2) の制限条件をとり除かねばならない。（このように，log か power law かが問題であるため，(1) より，いわゆる matching 的考えで，単純に粘性率はベキ発散であり，その指数が $-8\nu/(15\pi^2)$ であるとは結論できないことに注意。）

このような観点に立って，モード結合の大きさに関して２次摂動で得られる輸送係数に対する self-consistent な方程式[1),2)] から出発し，臨界点で臨界指数 z_η（$\eta\sim\tau^{-z_\eta\nu}$）を遂次的に求めた。そして，次のような結果を得た。

(i) 空間的に二次元から四次元の系において，粘性率は弱いベキ発散を示し，四次元の近傍では，

$$z_\eta=-\frac{1}{19}\,\varepsilon-\frac{1}{76}\left\{1-\left(\frac{1}{19}\right)^2\right\}\varepsilon^2+\frac{1}{19}\,\eta+O(\varepsilon^3) \tag{3}$$

ここに，η は秩序変数の静的相関に現われる指数である。(3) の右辺第１項は (2) と

一致する。三次元では，

$$z_\eta \approx -0.0540 \approx \frac{8}{15\pi^2}$$

すなわち，

$$\eta = \bar{\eta}\, \tau^{-0.0540\nu} \approx \bar{\eta}\, \tau^{-0.036} \quad \left(\nu \approx \frac{2}{3}\right) \tag{4}$$

ここに，$\bar{\eta}$ は τ に敏感に依存しない量である。

(ii) Rayleigh 線巾は臨界領域の極限で，

$$\Gamma(q, \xi) \sim q^{d-z_\eta} \qquad (q\xi \gg 1)$$

特に，三次元のとき

$$\Gamma(q, \xi) \sim q^{3.0540} \tag{5}$$

(1) と (4) を比べてみると $\bar{\eta} = \eta_0$ であると結論できる。つまり，(4) において background η_0 は excess 部分に対して積の形ではいっているのである (multiplicative renormalization)。これに対応する実験事実として，二成分溶液の場合，いろいろな物質においてトータルの (生の) 粘性率の τ との log−log プロットが非常に直線上にのり，その傾きが約 −0.04 になるということが経験的に知られていた。(文献 2) に収ろくされている Sengers の総合報告参照) gas−liquid 転移の場合でも，例えば，Xenon，Ethane のデータ[5] から同様のことを確かめることができる。(4) はそれに対する理論的根拠を与えるものである。Multiplicative renormalization の例としては Kinetic Ising model の場合[6]が知られているが臨界点で輸送係数が発散する古典液体の場合にもそうなっているということは興味深い。

臨界点の近傍で，種々の異常性に関する情報を与える別の，そしてより適切な手段として，光散乱の方法がある。Chang 達は $3 \lesssim q\xi \lesssim 15$ の領域における Reyleigh 線巾の解析により

$$\Gamma(q, \xi) \sim q^{2.99 \pm 0.05}$$

を得ている。[7] （3−methylpentane−nitroethane）今後，十分クリティカルな領域（$q\xi > 10$）で精密な実験がなされるようになれば，結論（5）が確かめられるであろう。

参考文献

1) K. Kawasaki, Ann. Phys. (N.Y.) **61** (1970), 1.

2) K. Kawasaki, Proceedings of the International Conference of Physics Enrico Fermi Course LI ed M. S. Green, (Academic Press, 1971).

3) B. I. Halperin, P. C. Hohenberg and E. D. Siggia, Phys. Rev. Letters, **32** (1974), 1289.

また，次の文献も参照。

J. D. Gunton and K. Kawasaki, J. Phys. **A8** (1975), L9.

4) T. Ohta, Prog. Theor. Phys. **54** (1975), 1566.

T. Ohta and K. Kawasaki, to be published.

5) H. J. Strumpf, A. F. Collings and C. J. Pings, J. Chem. Phys. **60** (1974), 3109.

6) K. Kawasaki, Phys. Letters, **54A** (1975), 131.

7) R. F. Chang, P. H. Keyes, J. V. Sengers and C. O. Alley, Phys. Rev. Letters, **27** (1971), 1706.